

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**MAGNETIC RECORDING MEDIUM, MAGNETIC STORAGE DEVICE,  
RECORDING METHOD AND PRODUCTION OF MAGNETIC  
RECORDING MEDIUM**

Patent Number: JP2001056924  
Publication date: 2001-02-27  
Inventor(s): NOEL ABARA;; OKAMOTO IWAO;; MIZOSHITA YOSHIKUMI;; YOSHIDA YUKI  
Applicant(s): FUJITSU LTD  
Requested Patent: ☐ JP2001056924  
Application Number: JP20000107075 20000407  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G11B5/66; G11B5/851; H01F10/14; H01F10/16  
EC Classification:  
Equivalents:

**Abstract**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve heat stability of the bits which are written, to reduce medium noise, and, therethrough, to enable highly reliable recording of high density by providing at least an exchange layer structure and a magnetic layer disposed thereon and composing the exchange layer structure of a ferromagnetic layer and a non-magnetic binding layer which is disposed upon the ferromagnetic layer and under the magnetic layer.

**SOLUTION:** The ferromagnetic layer 7 and the non-magnetic binding layer 8 constitute the exchange layer structure. Thereupon, the magnetic layer 9 is laminated. In addition, a non-magnetic substrate 1, a first seed layer 2, an NiP layer 3, a second seed layer 4, a substrate layer 5, a non-magnetic intermediate layer 6, a protective layer 10 and a lubricating layer 11 are laminated in the order of sign. The ferromagnetic layer 7 is composed of Co, Ni, Fe, Co-alloy, Ni-alloy and Fe-alloy, etc., the non-magnetic layer 8 is composed of Ru, Rh, Ir, Ru-alloy, Rh-alloy and Ir-alloy, etc., and the magnetic layer 9 is composed of Co or Co-alloy, etc., which includes CoCrTa, CoCrPt, CoCrPt-M.

Data supplied from the esp@cenet database - 12

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-56924

(P 2 0 0 1 - 5 6 9 2 4 A)

(43) 公開日 平成13年2月27日(2001.2.27)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード (参考)
G11B 5/66		G11B 5/66	5D006
5/851		5/851	5D112
H01F 10/14		H01F 10/14	5E049
10/16		10/16	

審査請求 有 請求項の数20 O L (全17頁)

(21) 出願番号	特願2000-107075 (P 2000-107075)	(71) 出願人	000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(22) 出願日	平成12年4月7日(2000.4.7)	(72) 発明者	ノエル アバラ 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願平11-161329	(72) 発明者	岡本 巖 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
(32) 優先日	平成11年6月8日(1999.6.8)	(74) 代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

最終頁に続く

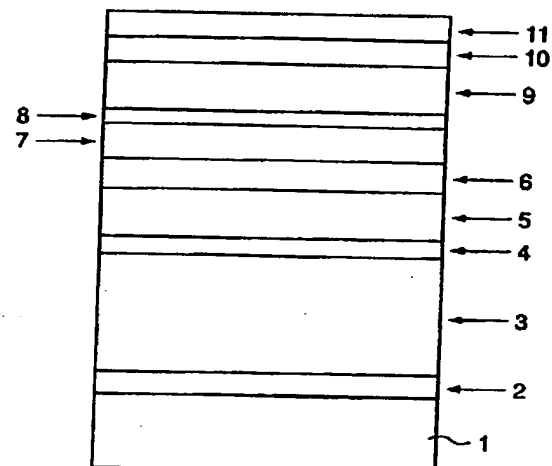
(54) 【発明の名称】 磁気記録媒体、磁気記憶装置、記録方法及び磁気記録媒体の製造方法

## (57) 【要約】

【課題】 本発明は磁気記録媒体、磁気記憶装置、記録方法及び磁気記録媒体の製造方法に関し、書き込まれたビットの熱安定性を向上し、媒体ノイズを低減し、磁気記録媒体の性能に悪影響を及ぼすことなく信頼性の高い高密度記録を行うことを目的とする。

【解決手段】 少なくとも1つの交換層構造と、交換層構造上に設けられた磁性層とを備え、交換層構造は、強磁性層と、該強磁性層上で、且つ、磁性層下に設けられた非磁性結合層とからなるように構成する。

本発明になる磁気記録媒体の第1実施例の要部を示す断面図



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 少なくとも 1 つの交換層構造と、  
該交換層構造上に設けられた磁性層とを備え、  
該交換層構造は、強磁性層と、該強磁性層上で、且つ、  
該磁性層下に設けられた非磁性結合層とからなる、磁気  
記録媒体。

【請求項 2】 前記強磁性層及び前記磁性層は互いに磁  
化方向が反平行である、請求項 1 記載の磁気記録媒体。

【請求項 3】 前記強磁性層は、Co、Ni、Fe、N  
i 系合金、Fe 系合金、及び CoCrTa、CoCrP  
t、CoCrPt-M を含む Co 系合金からなるグルー  
プから選択された材料からなり、M=B、Mo、Nb、  
Ta、W、Cu 又はこれらの合金である、請求項 1 又は  
2 記載の磁気記録媒体。

【請求項 4】 前記強磁性層は、2~10 nm の範囲内  
で選定された膜厚を有する、請求項 1~3 のいずれか 1  
項記載の磁気記録媒体。

【請求項 5】 前記非磁性結合層は、Ru、Rh、I  
r、Ru 系合金、Rh 系合金、及び Ir 系合金からなる  
グループから選択された材料からなる、請求項 1~4 の  
いずれか 1 項記載の磁気記録媒体。

【請求項 6】 前記非磁性結合層は、0.4~1.0 nm  
の範囲内で選定された膜厚を有する、請求項 1~5 の  
いずれか 1 項記載の磁気記録媒体。

【請求項 7】 前記磁性層は、Co、及び CoCrT  
a、CoCrPt、CoCrPt-M を含む Co 系合金  
からなるグループから選択された材料からなり、M=  
B、Mo、Nb、Ta、W、Cu 又はこれらの合金である、  
請求項 1~6 のいずれか 1 項記載の磁気記録媒体。

【請求項 8】 基板と、  
該基板の上方に設けられた下地層とを更に備え、  
前記交換層構造は、該下地層の上方に設けられている、  
請求項 1~7 のいずれか 1 項記載の磁気記録媒体。

【請求項 9】 少なくとも第 1 の交換層構造と、該第 1  
の交換層構造と前記磁性層との間に設けられた第 2 の交  
換層構造とを備え、該第 2 の交換層構造の強磁性層の磁  
気異方性は該第 1 の交換層構造の強磁性層の磁気異方性  
より弱く、該第 1 及び第 2 の交換層構造の強磁性層は互  
いに磁化方向が反平行である、請求項 1~8 のいずれか  
1 項記載の磁気記録媒体。

【請求項 10】 少なくとも第 1 の交換層構造と、該第  
1 の交換層構造と前記磁性層との間に設けられた第 2 の  
交換層構造とを備え、該第 2 の交換層構造の強磁性層の  
残留磁化と膜厚との積は該第 1 の交換層構造の強磁性層  
の残留磁化と膜厚との積より小さく、該第 1 及び第 2 の  
交換層構造の強磁性層は互いに磁化方向が反平行であ  
る、請求項 1~9 のいずれか 1 項記載の磁気記録媒体。

【請求項 11】 磁性層と、  
第 1 の交換層構造と、  
該第 1 の交換層構造と該磁性層との間に設けられた第 2

の交換層構造とを備え、

該第 2 の交換層構造の強磁性層の磁気異方性は該第 1 の  
交換層構造の強磁性層の磁気異方性より弱く、該第 1 及  
び第 2 の交換層構造の強磁性層は互いに磁化方向が反平  
行である、磁気記録媒体。

【請求項 12】 請求項 1~11 のいずれか 1 項記載の  
磁気記録媒体を少なくとも 1 つ備えた磁気記憶装置。

【請求項 13】 基板と、

該基板の上方に設けられた下地層と、

該下地層上に設けられ残留磁化と膜厚の積  $M_r \delta_i$  を  
有する下側強磁性層と、該下側強磁性層の上方に設けら  
れ残留磁化と膜厚の積  $M_r \delta_j$  を有する上側強磁性層  
とを少なくとも含む磁性層構造とを備え、

該磁性層構造内の隣接する強磁性層の磁化方向が略反平  
行となるように、該磁性層構造の総残留磁化と膜厚の積  
を  $M_r \delta$  とすると、 $M_r \delta = \sum (M_r \delta_i - M_r \delta_j)$   
) を満足する、磁気記録媒体。

【請求項 14】 反平行の磁気相互作用を発生させるた  
めに、前記磁性層構造内の隣接する強磁性層の間に設け  
られた非磁性結合層を更に備えた、請求項 13 記載の磁  
気記録媒体。

【請求項 15】 前記磁性層構造内の少なくとも 1 つの  
強磁性層は、互いに接触しており強磁性結合されている  
複数の強磁性層からなる、請求項 13 又は 14 記載の磁  
気記録媒体。

【請求項 16】 前記磁性層構造内の前記上側強磁性層  
の  $M_r \delta_i$  値は、該磁性層構造内の他の強磁性層の残  
留磁化と膜厚の積より大きい、請求項 13~15 のいづ  
れか 1 項記載の磁気記録媒体。

【請求項 17】 前記磁性層構造内の強磁性層は、互い  
に異なる組成を有する、請求項 13~16 のいずれか 1  
項記載の磁気記録媒体。

【請求項 18】 請求項 13~17 のいずれか 1 項記載  
の磁気記録媒体を少なくとも 1 つ備えた、磁気記憶装  
置。

【請求項 19】 情報を磁気的に磁気記録媒体に記録す  
る記録方法であって、

該磁気記録媒体の磁性層構造を構成すると共に、磁化方  
向が反平行である複数の強磁性層のうち、少なくとも 1  
つの強磁性層の磁化方向を切り替えるステップを含む、  
記録方法。

【請求項 20】 基板と、下地層と磁性層構造を有する  
磁気記録媒体の製造方法であって、

該下地層上に設けられ残留磁化と膜厚の積  $M_r \delta_i$  を  
有する下側強磁性層と、該下側強磁性層の上方に設けら  
れ残留磁化と膜厚の積  $M_r \delta_j$  を有する上側強磁性層  
とを少なくとも含むと共に、該磁性層構造内の隣接する  
強磁性層の磁化方向が略反平行となるように、該磁性層  
構造の総残留磁化と膜厚の積を  $M_r \delta$  とすると、 $M_r \delta$   
 $= \sum (M_r \delta_i - M_r \delta_j)$  を満足する該磁性層構

造を形成する第1のステップと、

該下地層及び該磁性層構造を連続スパッタリングで形成する第2のステップとを含む、磁気記録媒体の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は磁気記録媒体及び磁気記憶装置に係り、特に高密度記録に適した磁気記録媒体及び磁気記憶装置に関する。本発明は、更に磁気記録媒体に情報を磁気的に記録する記録方法及び磁気記録媒体の製造方法にも関する。

【0002】

【従来の技術】磁気ディスク等の水平磁気記録媒体の記録密度は、媒体ノイズの低減及び磁気抵抗効果型ヘッド及びスピナルヘッドの開発により、著しく増大した。代表的な磁気記録媒体は、基板と、下地層と、磁性層と、保護層とがこの順序で積層された構造を有する。下地層は、Cr又はCr系合金からなり、磁性層は、Co系合金からなる。

【0003】媒体ノイズを低減する方法は、今までに各種提案されている。例えば、Okamoto et al., "Rigid Disk Medium For 5 Gbit/in<sup>2</sup> Recording", AB-3, Intermag '96 Digestには、CrMoからなる適切な下地層を用いて磁性層の膜厚を減少させることで、磁性層の粒子サイズ及びサイズ分布を減少させることが提案されている。又、米国特許第5,693,426号では、NiAlからなる下地層を用いることが提案されている。更に、Hosoe et al., "Experimental Study of Thermal Decay in High-Density Magnetic Recording Media", IEEE Trans. Magn. Vol. 33, 1528 (1997)では、CrTiからなる下地層を用いることが提案されている。上記の如き下地層は、磁性層の面内配向を促し残留磁化及びビットの熱安定性を増加させる。磁性層の膜厚を減少させて、解像度を高くする、或いは、書き込まれたビット間の遷移幅を減少させることも提案されている。更に、CoCr系合金からなる磁性層のCr偏析を促進させ、粒子間の交換結合を減少させることも提案されている。

【0004】しかし、磁性層の粒子が小さくなり互いに磁気的に孤立するにつれ、書き込まれたビットは、線密度に応じて増加する減磁界と熱活性化とにより不安定になる。Lu et al., "Thermal Instability at 10 Gbit/in<sup>2</sup> Magnetic Recording", IEEE Trans. Magn. Vol. 30, 4230 (1994)では、マイクロマグネティックシミュレーションにより、直径が10nmで400kfc

ビットでKu V/ kB T ~ 60なる比の各粒子の交換結合を抑制された媒体では、大幅な熱的ディレイを受けやすいことが発表されている。ここで、Kuは磁気異方性の定数、Vは磁性粒子の平均体積、kBはボルツマン定数、Tは温度を示す。尚、Ku V/ kB Tなる比は、熱安定性係数とも呼ばれる。

【0005】Abarra et al., "Thermal Stability of Narrow Track Bits in a 5 Gbit/in<sup>2</sup> Medium", IEEE Trans. Magn. Vol. 33, 2995 (1997)では、粒子間の交換相互作用の存在が書き込まれたビットを安定化させることが、5 Gbit/in<sup>2</sup>のCoCrPtTa/CrMo媒体のアニールされた200kfcのMFM(磁気間力顕微鏡)解析により報告されている。ところが、20 Gbit/in<sup>2</sup>以上の記録密度では、更なる粒子間の磁気的結合の抑制が必須となる。

【0006】これに対する順当な解決策は、磁性層の磁気異方性を増加させることであつた。しかし、磁性層の磁気異方性を増加させるには、ヘッドの書き込み磁界に大きな負荷がかかってしまう。

【0007】又、熱的に不安定な磁気記録媒体の保磁力は、He et al., "High Speed Switching in Magnetic Recording Media", J. Magn. Mater. Vol. 155, 6 (1996)において磁気テープ媒体について、そして、J. H. Richter, "Dynamic Coercivity Effects in Thin Film Media", IEEE Trans. Magn. Vol. 34, 1540 (1997)において磁気ディスク媒体について報告されているように、スイッチ時間の減少に応じて急激に増加する。このため、データ速度に悪影響が生じてしまう。つまり、磁性層にどれくらい速くデータを書き込めるか、及び、磁性粒子の磁化を反転させるのに必要なヘッドの磁界強度が、スイッチ時間の減少に応じて急激に増加する。

【0008】他方、熱安定性を向上させる他の方法として、磁性層の下に基板に適切なテクスチャ処理を施すことにより、磁性層の配向率を増加させる方法も提案されている。例えば、発行中のAkimoto et al., "Magnetic Relaxation in Thin Film Media as a Function of Orientation", J. Magn. Mater. (1999)では、マイクロマグネティックシミュレーションにより、実効的なKu V/ kB T値が配向率の僅かな増加により増大することが報告されている。この結果、Abarra et al., "The Effect of Orientation Ratio on t

he Dynamic Coercivity of Media for >15Gbit/in' Recording", EB-02, Intermag '99, Koreaにおいて報告されているように、磁気記録媒体のオーバーライト性能を向上する保磁力の時間依存性をより弱めることができる。

【0009】更に、熱安定性を向上するための、キーパ磁気記録媒体も提案されている。キーパ層は、磁性層と平行な軟磁性層からなる。この軟磁性層は、磁性層の上又は下に配置される。多くの場合、Cr磁気絶縁層が軟磁性層と磁性層との間に設けられる。軟磁性層は、磁性層に書き込まれたビットの減磁界を減少させる。しかし、磁気記録層と連続的に交換結合する軟磁性層の結合により、磁性層の粒子の減結合という目的が達成されなくなってしまう。その結果、媒体ノイズが増大する。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】熱安定性を向上し、媒体ノイズを低減する方法は、様々なものが提案されている。しかし、提案されている方法では、書き込まれたビットの熱安定性を大幅に向上することはできず、このため、媒体ノイズを大幅に減少させることは難しいという問題があった。更に、提案方法によっては、媒体ノイズを低減するための対策のために、磁気記録媒体の性能に悪影響を及ぼしてしまうという問題もあった。

【0011】具体的には、熱安定性の高い磁気記録媒体を得るためには、(i) 磁気異方性定数  $K_u$  を増加させる、(ii) 温度  $T$  を減少させる、又は、(iii) 磁性層の粒子体積  $V$  を増加させる等の対策が考えられる。しかし、対策(i)では保磁力が増加してしまい、磁性層に情報を書き込むことがより難しくなってしまう。他方、対策(ii)は、例えばディスクドライブ等の動作温度が60℃を超えることがあることを考えると、非実用的である。更に、対策(iii)は、前記の如く媒体ノイズを増加させてしまう。又、対策(iii)に代わって、磁性層の膜厚を増加させることも考えられるが、この方法では解像度が低下してしまう。そこで、本発明は、書き込まれたビットの熱安定性を向上し、媒体ノイズを低減し、磁気記録媒体の性能に悪影響を及ぼすことなく信頼性の高い高密度記録を行える磁気記録媒体、磁気記憶装置、記録方法及び磁気記録媒体の製造方法を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記の課題は、少なくとも1つの交換層構造と、該交換層構造上に設けられた磁性層とを備え、該交換層構造は、強磁性層と、該強磁性層上で、且つ、該磁性層下に設けられた非磁性結合層とからなる磁気記録媒体により達成できる。本発明によれば、書き込まれたビットの熱安定性を向上し、媒体ノイズを低減し、磁気記録媒体の性能に悪影響を及ぼすことなく信頼性の高い高密度記録を行える磁気記録媒体を

現できる。

【0013】上記の課題は、基板と、該基板の上方に設けられた下地層と、該下地層上に設けられ残留磁化と膜厚の積  $M_r \delta_i$  を有する下側強磁性層と、該下側強磁性層の上方に設けられ残留磁化と膜厚の積  $M_r \delta_j$  を有する上側強磁性層とを少なくとも含む磁性層構造とを備え、該磁性層構造内の隣接する強磁性層の磁化方向が略反平行となるように、該磁性層構造の総残留磁化と膜厚の積を  $M_r \delta$  とすると、 $M_r \delta = \sum (M_r \delta_i - M_r \delta_j)$  を満足する磁気記録媒体によっても達成される。

【0014】上記の課題は、上記のいずれかの構成の磁気記録媒体を少なくとも1つ備えた磁気記憶装置によっても達成できる。本発明によれば、書き込まれたビットの熱安定性を向上し、媒体ノイズを低減し、磁気記録媒体の性能に悪影響を及ぼすことなく信頼性の高い高密度記録を行える磁気記憶装置を実現できる。

【0015】上記の課題は、情報を磁気的に磁気記録媒体に記録する記録方法であって、該磁気記録媒体の磁性層構造を構成すると共に、磁化方向が反平行である複数の強磁性層のうち、少なくとも1つの強磁性層の磁化方向を切り替えるステップを含む記録方法によっても達成できる。

【0016】上記の課題は、基板と、下地層と磁性層構造を有する磁気記録媒体の製造方法であって、該下地層上に設けられ残留磁化と膜厚の積  $M_r \delta_i$  を有する下側強磁性層と、該下側強磁性層の上方に設けられ残留磁化と膜厚の積  $M_r \delta_j$  を有する上側強磁性層とを少なくとも含むと共に、該磁性層構造内の隣接する強磁性層の磁化方向が略反平行となるように、該磁性層構造の総残留磁化と膜厚の積を  $M_r \delta$  とすると、 $M_r \delta = \sum (M_r \delta_i - M_r \delta_j)$  を満足する該磁性層構造を形成する第1のステップと、該下地層及び該磁性層構造を連続スパッタリングで形成する第2のステップとを含む磁気記録媒体の製造方法によっても達成できる。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例を図面と共に説明する。

【0018】

【実施例】まず、本発明の動作原理を説明する。

【0019】本発明は、互いに反平行である磁化構造を有する複数の層を用いるものである。例えば、S. S. P. Parkin, "Systematic Variation of the Strength and Oscillation Period of Indirect Magnetic Exchange Coupling through the 3d, 4d, and 5d Transition Metals", Phys. Rev. Lett. Vol. 67, 3598 (1991)においては、R

u, Rh等の薄い非磁性中間層を介して磁性層に結合するCo, Fe, Ni等の磁気遷移金属が説明されている。他方、米国特許第5,701,223号公報には、センサの安定化のために、上記の如き層を積層されたピンニング層として用いるスピンバルブが提案されている。

【0020】2つの強磁性層の間に設けられたRu又はRh層が特定の膜厚を有する場合、強磁性層の磁化方向を互いに平行又は反平行にすることができる。例えば、互いに異なる膜厚で磁化方向が反平行である2つの強磁性層からなる構造の場合、磁気記録媒体の有効粒子サイズは、解像度を実質的な影響を及ぼすことなく増加させることができる。このような磁気記録媒体から再生された信号振幅は、逆方向の磁化により減少するが、これに対しては、積層磁性層構造の下に、適切な膜厚及び磁化方向の層を更に設けることで、1つの層による影響を打ち消すことができる。この結果、磁気記録媒体から再生される信号振幅を増大させ、且つ、実効粒子体積を増大させることができる。従って、熱安定性の高い書き込まれたビットを実現することができる。

【0021】本発明は、磁性層を他の強磁性層と逆の磁化方向で交換結合させるか、或いは、積層フェリ磁性構造を用いることにより、書き込まれたビットの熱安定性を向上させる。強磁性層又は積層フェリ磁性構造は、交換-減結合された粒子からなる磁性層からなる。つまり、本発明は、磁気記録媒体の熱安定性の性能を向上させるために、交換ピンニング強磁性層又はフェリ磁性多層構造を用いる。

【0022】図1は、本発明になる磁気記録媒体の第1実施例の要部を示す断面図である。磁気記録媒体は、非磁性基板1、第1のシード層2、NiP層3、第2のシード層4、下地層5、非磁性中間層6、強磁性層7、非磁性結合層8、磁性層9、保護層10及び潤滑層11が、図1に示すようにこの順序で積層された構造を有する。

【0023】例えば、非磁性基板1は、Al, Al合金又はガラスからなる。この非磁性基板1は、テクスチャ処理を施されていても、施されていなくても良い。第1のシード層2は、特に非磁性基板1がガラスからなる場合には、例えばNiPからなる。NiP層3は、テクスチャ処理又は酸化処理を施されていても、施されていなくても良い。第2のシード層4は、下地層5にNiAl, FeAl等のB2構造の合金を用いた場合の下地層5の(001)面又は(112)面の配向を良好にするために設けられている。第2のシード層4は、第1のシード層2と同様な適切な材料からなる。

【0024】磁気記録媒体が磁気ディスクの場合、非磁性基板1又はNiP層3に施されるテクスチャ処理は、ディスクの周方向、即ち、ディスク上のトラックが延在する方向に沿って行われる。

【0025】非磁性中間層6は、磁性層9のエピタキシ

ヤル成長、粒子分布幅の減少、及び磁気記録媒体の記録面と平行な面に沿った磁性層9の異方性軸(磁化容易軸)の配向を促進するために設けられている。この非磁性中間層6は、CoCr-M等のhcp構造を有する合金からなり、1~5nmの範囲に選定された膜厚を有する。ここで、M=B, Mo, Nb, Ta, W又はこれらの合金である。

【0026】強磁性層7は、Co, Ni, Fe, Co系合金、Ni系合金、Fe系合金等からなる。つまり、CoCrTa, CoCrPt, CoCrPt-Mを含むCo系合金を、強磁性層7に用いることができる。ここで、M=B, Mo, Nb, Ta, W又はこれらの合金である。この強磁性層7は、2~10nmの範囲に選定された膜厚を有する。非磁性結合層8は、Ru, Rh, Ir, Ru系合金、Rh系合金、Ir系合金等からなる。例えば、この非磁性結合層8は、0.4~1.0nmの範囲に選定された膜厚を有し、好ましくは約0.6~0.8nmの膜厚を有する。非磁性結合層8の膜厚をこのような範囲に選定することにより、強磁性層7及び磁性層9の磁化方向が互いに反平行となる。強磁性層7及び非磁性結合層8は、交換層構造を構成する。

【0027】磁性層9は、Co又はCoCrTa, CoCrPt, CoCrPt-Mを含むCo系合金等からなる。ここで、M=B, Mo, Nb, Ta, W又はこれらの合金である。磁性層9は、5~30nmの範囲に選定された膜厚を有する。勿論、磁性層9は、単一層構造のものに限定されず、多層構造からなる構成であっても良いことは、言うまでもない。

【0028】保護層10は、例えばCからなる。又、潤滑層11は、磁気記録媒体を例えばスピンバルブヘッド等の磁気トランスデューサと使用するための、有機物潤滑剤からなる。保護層10及び潤滑層11は、磁気記録媒体上の保護層構造を構成する。

【0029】交換層構造の下に設けられる層構造は、勿論図1に示すものに限定されない。例えば、下地層5は、Cr又はCr系合金からなり、基板1上に5~40nmの範囲に選定された膜厚に形成し、交換層構造は、このような下地層5上に設けても良い。

【0030】次に、本発明になる磁気記録媒体の第2実施例を説明する。

【0031】図2は、本発明になる磁気記録媒体の第2実施例の要部を示す断面図である。同図中、図1と同一部分には同一符号を付し、その説明は省略する。

【0032】この磁気記録媒体の第2実施例では、交換層構造が、フェリ磁性多層構造を構成する。2つの非磁性結合層8, 8-1及び2つの強磁性層7, 7-1からなる。このような構造を用いることにより、2つの非磁性結合層8, 8-1の磁化は、磁性層9の一部を打ち消すことなく、互いに打ち消し合うので、実効磁化及び信号を増大することが可能となる。この結果、磁性層9の

粒子体積及び磁化の熱安定性が効果的に増大される。記録層の磁化容易軸の配向が好ましく保たれる限り、強磁性層と非磁性層の対からなる追加される2層構造により、実効的な粒子体積の増大を図ることができる。

【0033】強磁性層7-1は、強磁性層7と同様の材料からなり、膜厚も強磁性層7と同様の範囲に選定される。又、非磁性結合層8-1は、非磁性結合層8と同様の材料からなり、膜厚も非磁性結合層8と同様の範囲に選定される。強磁性層7、7-1間では、c軸は実質的に面内方向に沿っており、粒子は柱状に成長する。

【0034】本実施例では、強磁性層7-1の磁気異方性は、強磁性層7の磁気異方性より強く設定されている。しかし、強磁性層7-1の磁気異方性は、強磁性層7の磁気異方性より強くても、弱くても、或いは、同じに設定されていても良い。要は、強磁性層7の磁気異方性がその上下の層9、7-1よりも弱ければ良い。

【0035】又、強磁性層7の残留磁化と膜厚の積は、強磁性層7-1の残留磁化と膜厚の積より小さく設定されている。

【0036】図3は、Si基板上に形成された膜厚10nmの単一のCoPt層の面内磁気特性を示す図である。図3中、縦軸は磁化(em u)、横軸は保磁力(Oe)を示す。従来の磁気記録媒体は、図3に示す如き特性を示す。

【0037】図4は、上記記録媒体の第1実施例の如く、膜厚が0.8nmのRu層で分離された2つのCoPt層の面内磁気特性を示す図である。図4中、縦軸は残留磁化(Gauss)、横軸は保磁力(Oe)を示す。図4からもわかるように、ループは保磁力近傍でシフトを生じ、反強磁性結合が発生していることがわかる。図5は、膜厚が1.4nmのRu層で分離された2つのCoPt層の面内磁気特性を示す図である。図5中、縦軸は残留磁化(em u)、横軸は保磁力(Oe)を示す。図5からもわかるように、2つのCoPt層の磁化方向は平行である。

【0038】図6は、上記第2実施例の如く、膜厚が0.8nmのRu層で分離された2つのCoCrPt層の面内磁気特性を示す図である。図6中、縦軸は残留磁化(em u/cc)、横軸は保磁力(Oe)を示す。図6からもわかるように、ループは保磁力近傍でシフトを生じ、反強磁性結合が発生していることがわかる。

【0039】図3及び図4より、交換層構造を設けることにより、反平行結合を得られることがわかる。又、図5を、図4及び図6と比較することでわかるように、非磁性結合層8の膜厚は、反平行結合を得るためには、好ましくは0.4~0.9nmの範囲に選定される。

【0040】従って、磁気記録媒体の第1及び第2実施例によれば、磁性層と強磁性層との間の非磁性結合層を介した交換結合により、解像度を犠牲にすることなく、実効粒子体積を増大させることができる。つまり、熱安

定性の良い媒体を実現できるように、粒子体積から見ると、磁性層の見かけ上の膜厚を増加させることができる。又、下部の磁性層からの再生出力は打ち消されるため、有効な磁性層の膜厚は変わらない。このため、見かけ上の磁性層の膜厚は増加するが、有効な磁性層の膜厚は変化せずに薄くできるので、厚い媒体では得られない高分解能を得ることができる。この結果、媒体ノイズが低減され、且つ、熱安定性の向上された磁気記録媒体を得ることができる。

10 【0041】次に、本発明になる磁気記憶装置の一実施例を、図7及び図8と共に説明する。図7は、磁気記憶装置の一実施例の要部を示す断面図であり、図8は、磁気記憶装置の一実施例の要部を示す平面図である。

【0042】図7及び図8に示すように、磁気記憶装置は大略ハウジング13からなる。ハウジング13内には、モータ14、ハブ15、複数の磁気記録媒体16、複数の記録再生ヘッド17、複数のサスペンション18、複数のアーム19及びアクチュエータユニット20が設けられている。磁気記録媒体16は、モータ14により回転されるハブ15に取り付けられている。記録再生ヘッド17は、MRヘッドやGMRヘッド等の再生ヘッドと、インダクティブヘッド等の記録ヘッドとからなる。各記録再生ヘッド17は、対応するアーム19の先端にサスペンション18を介して取り付けられている。アーム19はアクチュエータユニット20により駆動される。この磁気記憶装置の基本構成自体は周知であり、その詳細な説明は本明細書では省略する。

【0043】磁気記憶装置の本実施例は、磁気記録媒体16に特徴がある。各磁気記録媒体16は、図1及び図2と共に説明した、上記磁気記録媒体の第1実施例又は第2実施例の構造を有する。勿論、磁気記録媒体16の数は3枚に限定されず、1枚でも、2枚又は4枚以上であっても良い。

【0044】磁気記憶装置の基本構成は、図7及び図8に示すものに限定されるものではない。又、本発明で用いる磁気記録媒体は、磁気ディスクに限定されない。

【0045】次に、本発明の更なる特徴を、交換層構造を有さない従来の磁気記録媒体との比較で説明する。以下の説明では、交換層構造の強磁性層及び磁性層は、いずれも磁性層構造を構成する強磁性層とも称する。

【0046】図9は、ガラス上のNiAl層の上にCoCrPtBからなる層が1層形成された磁気記録媒体の面内磁化曲線を示す図である。同図中、縦軸は磁化M(em u/cc)、横軸は磁界H(Oe)を示す。同図に示すM-H曲線と同様のM-H曲線は、NiPが塗布されたAl基板或いはガラス基板のCr下地層の上にCo系からなる層を1層形成した場合にも得られる。

【0047】他方、図10は、NiPが塗布されたAl-Mg基板上に、膜厚が0.8nmのRu層で分離されたCoCrPtBからなる2つの強磁性層がスパッタリ



ング形成された磁気記録媒体の面内磁化曲線を示す図である。同図中、縦軸は磁化 $M$  (emu/cc)、横軸は磁界 $H$  (Oe)を示す。同図からもわかるように、磁化 $M$ は磁界 $H$ が $H=500$  Oeの近辺で急激に減少し、約1000 Oeの交換結合磁界の存在を示している。 $H=0$ での磁化 $M$ の低下は、反平行結合の存在を裏付けている。

【0048】負結合のためのRuの最適膜厚は、磁気力学のみならず、スピスタンド法 (spin stand method) によっても決定される。低密度での再生信号は、 $Mr\delta$ なる積の状態をある程度示す。ここで、 $Mr\delta$ はCoCrPtB層、即ち、磁性層構造の強磁性層の残留磁化 $Mr$ と有効な膜厚 $\delta$ の積を示す。2つのCoCrPtB層の膜厚を一定に保ちながらRu層の膜厚を変化させると、再生信号はRu層の最適膜厚のところで低下する。Ru層の最適膜厚は、磁性層構造の強磁性層を構成する磁性材料や成膜工程に依存する。150℃以上の温度で成膜されるCoCrPt系合金の場合、Ru層の膜厚が約0.4~1.0 nmの範囲内であると反平行結合を発生させる。

【0049】図11は、NiPが塗布されたAl基板上に、Ru層で分離されたCoCrPtBからなる2つの強磁性層が設けられた磁気記録媒体の面内磁化曲線を示す図である。同図中、縦軸は磁化 $M$  (emu/cc)、横軸は磁界 $H$  (Oe)を示す。同図は、基板に近い方の第1のCoCrPtB層の膜厚が8 nmであり、Ru層の膜厚が0.8 nmであり、基板から遠い方の第2のCoCrPtB層の膜厚が20 nmである場合を示す。

【0050】この場合、高い負磁界では反平行結合が観測された。ビット内の減磁界がかなり高くない限り、完全な反平行結合は得られず、又、第1及び第2のCoCrPtB層の磁化が共に実質的に同じ方向であるため非常に大きな再生信号が得られる。従って、第1のCoCrPtB層の保磁力 $H_c$ を減少させる必要があり、これには第1のCoCrPtB層の膜厚の減少又は保磁力 $H_c$ の減少を伴うような組成の使用が必要である。CoCrPt系の材料の場合、後者は通常Cr含有量及び/又はPt含有量を増やすことで実現可能である。

【0051】図12は、NiPが塗布されたAl基板上に、相隣るCoCrPtB層がRu層で分離された3つのCoCrPtB強磁性層が設けられた磁気記録媒体の面内磁化曲線を示す図である。同図中、縦軸は磁化 $M$  (emu/cc)、横軸は磁界 $H$  (Oe)を示す。同図は、基板に近い方の第1及び第2のCoCrPtB層の膜厚が夫々6 nmであり、一番上の第3のCoCrPtB層の膜厚が20 nmであり、第1及び第2のCoCrPtB層の間のRu層及び第2及び第3のCoCrPtB層の間のRu層の膜厚が夫々0.8 nmである場合を示す。この場合、磁化 $M$ は磁界 $H$ が $H=500$ の近辺で低下し、第1~第3のCoCrPtB層のいずれかの磁

化が正磁界で反転したことを示す。磁化が反転したのは、真中の第2のCoCrPtB層である可能性が高い。これは、真中の第2のCoCrPtB層が、2つの界面からのより強い反転磁界を受けるからである。従って、層間相互作用は、真中の第2のCoCrPtB層の保磁力 $H_c$ より500 Oe高い。ところが、低い負磁界では、一番下の第1のCoCrPtB層が磁化反転を開始し、約-1000 Oeでは、一番上の第3のCoCrPtB層の磁化のみが反転されていない。好ましくは、一番下の第1のCoCrPtB層の磁化反転は、ビット内の減磁界に比べて低い磁界で起こるべきではなく、これは例えば一番下の第1のCoCrPtB層の膜厚及び/又は組成を適切に選択することで実現できる。このような3つの強磁性層を有する磁気記録媒体は、交換結合を持たない単一の強磁性(磁性)層を有する磁気記録媒体より良いリード/ライト特性を示す傾向がある。再生信号は、時間と共に粒子が層磁化構造を平行からより安定な反平行に変えるにつれて、低下する可能性がある。しかし、媒体ノイズレベルも同様にして低下するため、磁気記録媒体の孤立波媒体信号対雑音非 (SNR)  $S_{iso}/Nm$ は、維持されると予想される。従って、孤立波媒体SNR  $S_{iso}/Nm$ と密接な関係にあるビットエラーレート (BER: ビット誤り率) は、低下することはない。

【0052】図13は、NiAlが塗布されたガラス基板上に、Ru層で分離されたCoCrPtBからなる2つの負結合された強磁性層が設けられた磁気記録媒体の面内磁化曲線を示す図である。同図中、縦軸は磁化 $M$  (emu/cc)、横軸は磁界 $H$  (Oe)を示す。この場合、基板に近い方のCoCrPtB層の磁化は、磁界 $H$ が $H=0$  Oeになる前に反転する。

【0053】図14は、NiAlが塗布されたガラス基板上に、上記と同様の方法でCoCrPtBからなる単一の強磁性層が設けられた磁気記録媒体の面内磁化曲線を、図13に示す2つの負結合された強磁性層を有する磁気記録媒体の面内磁化曲線と比較して示す図である。図14中、縦軸は磁化 $M$  (emu/cc)、横軸は磁界 $H$  (Oe)を示す。図13に示す面内磁化曲線は実線で示し、単一の強磁性層を有する磁気記録媒体の面内磁化曲線は破線で示す。図14では、磁気記録に関する $M-H$ 曲線部分の類似性を示すために、飽和磁化は正規化されている。

【0054】ヘッドが2つの強磁性層を有する磁気記録媒体の一部を飽和させると、2つの強磁性層の磁化は共にヘッド磁界方法であるが、ヘッド磁界が印加されなくなると、下側の強磁性層の磁化が反転し、ビット内の状況は単一の強磁性層を有する磁気記録媒体の場合と同様になる。リードヘッドは最終的な磁化をセンスするだけである。従って、当業者であれば、磁気記録媒体が従来の磁気記録媒体と同様な特性を有すると共に、更に向上

された熱安定性を備えるように、強磁性層の膜厚、組成及び成膜工程を最適化できる。

【0055】図15は、2つの強磁性層及び3つの強磁性層を有する磁気記録媒体における信号減衰を、単一の強磁性層を有する磁気記録媒体における信号減衰と比較して示す図である。同図中、縦軸は207kfc iビットでの再生信号の信号減衰(dB)、横軸は時間(s)を示す。同図において、◇印は膜厚が10nmの単一のCoCrPtB層を有する磁気記録媒体のデータ、●印は膜厚が10nmの下側の第1のCoCrPtB層と、膜厚が0.8nmのRu層と、膜厚が4nmの上側の第2のCoCrPtB層からなる磁気記録媒体のデータ、□印は膜厚が10nmの下側の第1のCoCrPtB層と、膜厚が0.8nmの第1のRu層と、膜厚が4nmの真中の第2のCoCrPtB層と、膜厚が0.8nmの第2のRu層と、膜厚が4nmの上側の第3のCoCrPtB層からなる磁気記録媒体のデータを夫々示す。各強磁性層の組成は同じであり、カー効果型磁力計を用いて測定した保磁力Hcは夫々同様であり約2700Oeである。図15からもわかるように、2つの強磁性層及び3つの強磁性層を有する磁気記録媒体は、単一の強磁性層を有し交換結合を用いない磁気記録媒体の場合と比較すると、夫々実効体積が増加するにつれてより改善された熱安定性特性を示す。

【0056】図16は、2つの負結合された強磁性層を有する磁気記録媒体のM-H曲線を、異なる温度について示す図である。同図中、縦軸は磁化M(emu/cc)、横軸は磁界H(Oe)を示し、データは3つの異なる温度0℃、25℃及び75℃について示す。強い負結合が広い温度範囲にわたって観測され、ディスクやテープ等の磁気記録媒体で使用される有益な範囲をもカバーされることが確認された。

【0057】図17は、図16に示す特性を有する磁気記録媒体の保磁力の温度依存性を示す図である。図17中、縦軸は保磁力Hc(Oe)、横軸は測定された温度(℃)を示す。又、 $y = -15.47x + 4019.7$ なる表現において、 $y = Hc$ 、 $x =$ 温度である。温度に対する保磁力の変化である $dHc/dT$ は、 $dHc/dT = 15.5 \text{ Oe}/^\circ\text{C}$ であり、単一の強磁性層を有する磁気記録媒体のそれよりも低い。単一の強磁性層を有する磁気記録媒体の代表的な $dHc/dT$ 値は16~17Oe/℃である。従って、2つの負結合された強磁性層を有する磁気記録媒体の改善された $dHc/dT$ 値は、主に実効体積の増加によるものであることがわかる。

【0058】図18は、2つの強磁性層及び3つの強磁性層を有する磁気記録媒体におけるPW50値の強磁性層の有効及び総膜厚依存性を、単一の強磁性層を有する磁気記録媒体におけるPW50値の強磁性層の有効及び総膜厚依存性と比較して示す図である。同図中、縦軸はPW50値(ns)、横軸は強磁性層の有効及び総膜厚

(nm)を示す。同図において、◆印は単一の強磁性層を有する磁気記録媒体のデータ、■印は2つの交換結合された強磁性層からなる磁気記録媒体のデータ、△印は3つの交換結合された強磁性層からなる磁気記録媒体のデータを夫々示す。各強磁性層の膜厚及び組成は、夫々図15のデータを求めた場合と同じである。図18では、左側の実線に沿ったデータは、有効膜厚を強磁性層の膜厚として用いた場合、即ち、反平行構造による磁化相殺を想定した場合のデータを示す。これらのデータからもわかるように、かなりの相関性が観測され、上記想定が正しいことが確認された。これに対し、1又は複数の強磁性層の総膜厚を膜厚として用いた場合、データは右側の破線に沿った位置へシフトする。破線に沿ったデータは、単一の強磁性層を有する磁気記録媒体のデータと比較すると、膜厚に対してPW50値があまりにも小さく、理屈に合わない。

【0059】従って、媒体厚の増加に伴い書き込み解像度が低下することがあっても、読み出し解像度が低下することはない。これは、下側の強磁性層からの信号が相殺されるからであり、単一の強磁性層を有する磁気記録媒体に比較して改善された孤立波媒体SNRSiso/Nmが得られることから、これを裏付けている。2つの交換結合された強磁性層及び非常に低いMrδ値を有する磁気記録媒体の孤立波媒体SNRSiso/Nmは、単一の強磁性層を有する磁気記録媒体と比較して特に改善されている。このような非常に低いMrδ値は、2つの強磁性層が略同じMrδ値を有する場合に実現できる。又、3つの交換結合された強磁性層を有する磁気記録媒体の場合には、下側の第1の強磁性層の膜厚と真中の第2の強磁性層の膜厚の和が、上側の第3の強磁性層の膜厚とあまりかわらなければ、特性が更に向上される。このような現象は、非結合の2層構造でも起こる同様の現象と矛盾していない。これは、非結合の2層構造の場合、2つの層の膜厚の最良の組み合わせは、2つの層が同じ膜厚の場合であるからである。

【0060】図19は、孤立波媒体SNRSiso/Nmの有効膜厚依存性を示す図である。同図中、縦軸は孤立波媒体SNRSiso/Nmの変化 $\Delta S_{iso}/Nm$ (dB)、横軸は強磁性層の有効膜厚(nm)を示す。又、同図において、◆印、■印及び△印は、夫々図18の場合と同様な3種類の磁気記録媒体のデータを示す。図19からもわかるように、低いMrδ値を有する2つの交換結合された強磁性層からなる磁気記録媒体の場合に、特に良好な孤立波媒体SNRSiso/Nmが観測された。この場合の強磁性層の総膜厚は、単一の強磁性層からなる磁気記録媒体の場合より大きくなるものの、リード/ライト特性は実質的に低下せず、場合によっては改善されることが確認された。

【0061】本発明者らは、磁性層構造内の少なくとも1つの強磁性層が、互いに接触しており強磁性結合され

ている複数の強磁性層からなる構成では、下側の強磁性層が23at%以上のCr含有量を有してCr含有量が多く、上側の強磁性層のCr含有量が少ない場合に、特に良好な特性が得られることを確認した。この結果からも、磁性層構造を構成する下側の強磁性層の役割が非常に重要であることがわかる。本発明者らによる実験結果によると、磁性層構造の下側の強磁性層の欠陥に起因するノイズは、その上側に設けられる強磁性層の打ち消し作用により効果的に減少可能であることが確認された。つまり、下側の層が大きなノイズ源となるものの、本実施例では下側の層からの信号が打ち消されるので、信号の殆どは、ノイズも含めて上側の層からのものになり、SNRを改善することが可能となる。

【0062】本発明になる磁気記録媒体の第3実施例は、上記の如き観測結果に基づくものである。

【0063】つまり、第3実施例では、磁気記録媒体は、基板と、基板の上方に設けられた下地層と、下地層上に設けられ、少なくとも残留磁化と膜厚の積 $Mr_i \delta_i$ を有する下側強磁性層と、下側強磁性層の上方に設けられ残留磁化と膜厚の積 $Mr_j \delta_j$ を有する上側強磁性層とを含む磁性層構造とを備え、磁性層構造内の隣接する強磁性層の磁化方向が略反平行となるように、磁性層構造の総残留磁化と膜厚の積を $Mr \delta$ とすると、 $Mr \delta \approx \sum (Mr_i \delta_i - Mr_j \delta_j)$ を満足する構成となっている。ここで、 $\delta_i$ 、 $\delta_j$ は、夫々有効な膜厚とみなすことができる。

【0064】磁気記録媒体は、反平行の磁気相互作用を発生させるために、前記磁性層構造内の隣接する強磁性層の間に設けられた非磁性結合層を更に備えた構成としても良い。この非磁性結合層は、実質的にRuからなり約0.4~1.0nmの膜厚を有する構成としても良い。又、この非磁性結合層は、Ru、Rh、Ir、Cu、Cr及びこれらの合金を含むグループから選択された材料からなる構成としても良い。

【0065】磁気記録媒体において、前記磁性層構造内の各強磁性層は、Co、Fe、Ni、CoCrTa、CoCrPt、CoCrPt-Mからなるグループから選択された材料からなり、M=B、Cu、Mo、Nb、Ta、W及びこれらの合金であっても良い。又、前記磁性層構造内の少なくとも1つの強磁性層は、互いに接触しており強磁性結合された複数の強磁性層からなる構成であっても良い。前記磁性層構造内の上側強磁性層の $Mr_i \delta_i$ 値は、磁性層構造内の他の強磁性層の残留磁化と膜厚の積より大きい構成としても良い。更に、前記磁性層構造内の強磁性層は、互いに異なる組成を有する構成としても良い。

【0066】磁気記録媒体の第3実施例によれば、同様の $Mr \delta$ 値を有すると共に単一の磁性層又は略平行な磁化の複数の磁性層からなる磁気記録媒体と比べると、高い熱安定性係数及び孤立波媒体SNRSISO/Nmを

得ることができる。又、磁気記録媒体の第3実施例によれば、同様の総膜厚の磁性層を有する磁気記録媒体と比べると、より小さなPW50値を得ることができる。

【0067】更に、磁気記録媒体の第3実施例によれば、同様の $Mr \delta$ 値を有すると共に単一の磁性層又は略平行な磁化の複数の磁性層からなる磁気記録媒体と比べると、小さなdHc/dT値を得ることができる。

【0068】又、図16及び図17に示す如きデータ等から、磁気記録媒体の第3実施例で得られる強磁性結合は、約-10~150℃の範囲において十分強く、且つ、反平行であることが確認された。

【0069】次に、本発明になる記録方法の一実施例を説明する。記録方法の本実施例では、上記磁気記憶装置の実施例を用いて、上記磁気記録媒体の実施例のいずれかに対して情報を磁気的に記録する。

【0070】具体的には、情報を磁気的に磁気記録媒体に記録する記録方法の本実施例は、上記磁気記録媒体の第3実施例のように、磁気記録媒体の磁性層構造を構成すると共に、磁化方向が反平行である複数の強磁性層のうち、少なくとも1つの強磁性層の磁化方向を切り替えるステップを含む。記録方法の本実施例によれば、改善された熱安定性を保ち高密度記録を行うことができる。

【0071】次に、本発明になる磁気記録媒体製造方法の一実施例を説明する。

【0072】上記磁気記録媒体のいずれかの実施例を製造する場合、磁気記録媒体を構成する各層の結晶特性及び結晶配向を適切に制御する必要がある。特に非磁性結合層は、下地層等の他の層と比較すると薄いので、このような薄い非磁性結合層を均一に成長することが望ましい。更に、強磁性結合を正しく発生するためには、隣接する層間の界面も非常にきれいで目立つ欠陥を含まないようにする必要がある。

【0073】そこで、磁気記録媒体の製造方法の本実施例では、磁気記録媒体を構成する各層を連続的に形成し、好ましくは、連続スパッタリングを用いる。これは、スパッタリングが、他の層形成方法と比較すると、非常に薄くて均一な層の成長を可能とするからである。又、連続スパッタリングを用いることにより、隣接する層間での汚染を最小限に抑えることができる。

【0074】スパッタリングを用いた場合でも、約1nm以下といった非常に薄い層の均一な成長を保証することが難しい。本発明者らの実験結果によると、このような非常に薄い層の均一な成長を保証するには、スパッタリング速度を0.35nm/s以下に設定することが好ましいことが確認された。

【0075】又、スパッタリング時のガス圧が高すぎると、層や隣接する層間の界面が汚染されやすい。他方、スパッタリング時のガス圧が低すぎると、不安定なプラズマにより薄膜の成長が不均一になってしまう。本発明者らの実験結果によると、スパッタリング時のガス圧

は、約5mTorrに設定することが好ましいことが確認された。

【0076】更に、スパッタリングの際の基板温度も最適化することが必要である。基板温度が高すぎると、基板が変形して、特に非磁性結合層のような非常に薄い層の均一な成長を妨げる。他方、基板温度が低すぎると、成長される層の結晶特性が低下してしまう。本発明者らの実験結果によると、スパッタリング前の基板温度は、約100～300℃の範囲内に設定することが好ましいことが確認された。

【0077】図20は、磁気記録媒体製造方法の本実施例で用いる磁気記録媒体製造装置の概略構成を示す図である。同図に示す磁気記録媒体製造装置は、大略ローディング/アンローディング装置50、熱処理チャンバ51及び複数のスパッタリングチャンバ52-1～52-nからなり、nは製造する磁気記録媒体の層構造に依存する。最後のスパッタリングチャンバ52-nは、ローディング/アンローディング装置50に接続され、製造された磁気記録媒体のアンロードを可能とする。尚、本実施例では、説明の便宜上、n=9の場合を説明する。

【0078】先ず、基板はローディング/アンローディング装置50にロードされ、熱処理チャンバ51において約100～300℃の基板温度に加熱される。次に、スパッタリングチャンバ52-1～52-9により連続DCスパッタリングが行われ、基板上には膜厚が40nmのNiAl層、膜厚が20nmのCrMo下地層、膜厚が1.5nmのCoCr中間層、膜厚が4nmのCoCrPtB強磁性層、膜厚が0.8nmのRu非磁性結合層、膜厚が4nmのCoCrPtB強磁性層、膜厚が0.8nmのRu非磁性結合層、CoCrPtB磁性層及びC保護層が順次形成される。

【0079】スパッタリングチャンバ52-1～52-9内のガス圧は、約5mTorrに設定される。又、スパッタリングチャンバ52-5、52-7におけるスパッタリング速度は、約0.35nm/s以下と、他のスパッタリングチャンバにおけるスパッタリング速度より遅く設定される。尚、遅いスパッタリング速度は、例えば図20にスパッタリングチャンバ52-5、52-7について示すように、カソード間の距離を増加させてターゲットと基板間の距離を増加させることで実現できる。

【0080】図21は、孤立波出力の有効磁性層膜厚依存性を示す図である。同図中、縦軸は孤立波出力( $\mu V_{pp}$ )、横軸は磁性層の有効膜厚(nm)を示す。同図に示すデータは、上記の如く製造された磁気記録媒体に対して信号を書き込んで、GMRヘッドにより書き込まれた信号を読み出すことで求めた。同図からもわかるように、孤立波出力は磁性層の有効膜厚に比例し、磁性層構造の反強磁性結合の存在が確認された。

【0081】図22は、高周波SNRの温度依存性を示

す図である。同図中、縦軸は高周波SNR(dB)、横軸はスパッタリング時の基板温度(℃)を示す。同図からもわかるように、基板温度が好ましくは約100～300℃の範囲内に設定されると、良い特性を有する層が成長されることが確認された。

【0082】図23は、孤立波媒体SNRとスパッタリング速度との関係を示す図である。同図中、縦軸は孤立波媒体SNRSiso/Nm(dB; 相対値)、横軸はスパッタリング速度(nm/s)を示す。同図に示すデータは、Ru層の上下に設けられた磁性層及び強磁性層が正常に磁氣的結合をするか否かを確認するために求めた。便宜上、同図に示すデータは、CCPB強磁性層上に膜厚が1.4nmのRu層を形成し、Ru層上にCCPB磁性層を形成した場合に得られるデータである。

【0083】図23中、孤立波媒体SNRSiso/Nmは、Ru層を有さない比較用のモデル媒体の孤立波媒体SNRに対する相対値で表されている。同図からもわかるように、Ruのスパッタリング速度が増加するにつれて、孤立波媒体SNRSiso/Nmが低下する。これは、非常に薄いRu層が、高いスパッタリング速度では正常に形成されないことを示す。図23では、特にRuのスパッタリング速度が0.35nm/sより速くなると、孤立波媒体SNRSiso/Nmが、Ru層を有さない比較用のモデル媒体に比べて低下している。これにより、上記の如く良い特性の磁気記録媒体を製造するには、Ruのスパッタリング速度は、0.35nm/s以下とすることが望ましいことが確認された。

【0084】以上、本発明を実施例により説明したが、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、種々の変形及び改良が可能であることは、言うまでもない。

【0085】本発明は、以下に付記する発明をも包含するものである。

【0086】(付記1) 少なくとも1つの交換層構造と、該交換層構造上に設けられた磁性層とを備え、該交換層構造は、強磁性層と、該強磁性層上で、且つ、該磁性層下に設けられた非磁性結合層とからなる、磁気記録媒体。

【0087】(付記2) 前記強磁性層及び前記磁性層は互いに磁化方向が反平行である、(付記1)記載の磁気記録媒体。

【0088】(付記3) 前記強磁性層は、Co、Ni、Fe、Ni系合金、Fe系合金、及びCoCrTa、CoCrPt、CoCrPt-Mを含むCo系合金からなるグループから選択された材料からなり、M=B、Mo、Nb、Ta、W、Cu又はこれらの合金である、(付記1)又は(付記2)記載の磁気記録媒体。

【0089】(付記4) 前記強磁性層は、2～10nmの範囲内で選定された膜厚を有する、(付記1)～(付記3)のいずれか1項記載の磁気記録媒体。

【0090】(付記5) 前記非磁性結合層は、Ru、

Rh、Ir、Ru系合金、Rh系合金、及びIr系合金からなるグループから選択された材料からなる、(付記1)～(付記4)のいずれか1項記載の磁気記録媒体。

【0091】(付記6) 前記非磁性結合層は、0.4～1.0nmの範囲内で選定された膜厚を有する、(付記1)～(付記5)のいずれか1項記載の磁気記録媒体。

【0092】(付記7) 前記磁性層は、Co、及びCoCrTa、CoCrPt、CoCrPt-Mを含むCo系合金からなるグループから選択された材料からなり、M=B、Mo、Nb、Ta、W、Cu又はこれらの合金である、(付記1)～(付記6)のいずれか1項記載の磁気記録媒体。

【0093】(付記8) 基板と、該基板の上方に設けられた下地層とを更に備え、前記交換層構造は、該下地層の上方に設けられている、(付記1)～(付記7)のいずれか1項記載の磁気記録媒体。

【0094】(付記9) 前記下地層と前記交換層構造との間に設けられた非磁性中間層を更に備え、該非磁性中間層は、CoCr-Mからなるグループから選択されたhcp構造の合金からなり、1～5nmの範囲で選定された膜厚を有し、M=B、Mo、Nb、Ta、W又はこれらの合金である、(付記8)記載の磁気記録媒体。

【0095】(付記10) 前記基板と前記下地層との間に設けられたNiP層を更に備え、前記NiP層はテクスチャ処理又は酸化処理を施されている、(付記8)又は(付記9)記載の磁気記録媒体。

【0096】(付記11) 前記下地層は、NiAl及びFeAlからなるグループから選択されたB2構造を有する合金からなる、(付記8)～(付記10)のいずれか1項記載の磁気記録媒体。

【0097】(付記12) 少なくとも第1の交換層構造と、該第1の交換層構造と前記磁性層との間に設けられた第2の交換層構造とを備え、該第2の交換層構造の強磁性層の磁気異方性は該第1の交換層構造の強磁性層の磁気異方性より弱く、該第1及び第2の交換層構造の強磁性層は互いに磁化方向が反平行である、(付記1)～(付記11)のいずれか1項記載の磁気記録媒体。

【0098】(付記13) 少なくとも第1の交換層構造と、該第1の交換層構造と前記磁性層との間に設けられた第2の交換層構造とを備え、該第2の交換層構造の強磁性層の残留磁化と膜厚との積は該第1の交換層構造の強磁性層の残留磁化と膜厚との積より小さく、該第1及び第2の交換層構造の強磁性層は互いに磁化方向が反平行である、(付記1)～(付記12)のいずれか1項記載の磁気記録媒体。

(付記14) 磁性層と、第1の交換層構造と、該第1の交換層構造と該磁性層との間に設けられた第2の交換層構造とを備え、該第2の交換層構造の強磁性層の磁気異方性は該第1の交換層構造の強磁性層の磁気異方性よ

り弱く、該第1及び第2の交換層構造の強磁性層は互いに磁化方向が反平行である、磁気記録媒体。

【0099】(付記15) (付記1)～(付記14)のいずれか1項記載の磁気記録媒体を少なくとも1つ備えた磁気記憶装置。

【0100】(付記16) 基板と、該基板の上方に設けられた下地層と、該下地層上に設けられ残留磁化と膜厚の積 $M_r \delta_1$ を有する下側強磁性層と、該下側強磁性層の上方に設けられ残留磁化と膜厚の積 $M_r \delta_2$ を有する上側強磁性層とを少なくとも含む磁性層構造とを備え、該磁性層構造内の隣接する強磁性層の磁化方向が略反平行となるように、該磁性層構造の総残留磁化と膜厚の積を $M_r \delta$ とすると、 $M_r \delta = \sum (M_r \delta_1 - M_r \delta_2)$ を満足する、磁気記録媒体。

【0101】(付記17) 反平行の磁気相互作用を発生させるために、前記磁性層構造内の隣接する強磁性層の間に設けられた非磁性結合層を更に備えた、(付記16)記載の磁気記録媒体。

【0102】(付記18) 前記非磁性結合層は、実質的にRuからなり約0.4～1.0nmの膜厚を有する、(付記17)記載の磁気記録媒体。

【0103】(付記19) 前記非磁性結合層は、Ru、Rh、Ir、Cu、Cr及びこれらの合金を含むグループから選択された材料からなる、(付記17)記載の磁気記録媒体。

【0104】(付記20) 前記磁性層構造内の各強磁性層は、Co、Fe、Ni、CoCrTa、CoCrPt、CoCrPt-Mからなるグループから選択された材料からなり、M=B、Cu、Mo、Nb、Ta、W及びこれらの合金である、(付記16)～(付記19)のいずれか1項記載の磁気記録媒体。

【0105】(付記21) 前記磁性層構造内の少なくとも1つの強磁性層は、互いに接触しており強磁性結合されている複数の強磁性層からなる、(付記16)～(付記20)のいずれか1項記載の磁気記録媒体。

【0106】(付記22) 前記磁性層構造内の前記上側強磁性層の $M_r \delta_1$ 値は、該磁性層構造内の他の強磁性層の残留磁化と膜厚の積より大きい、(付記16)～(付記21)のいずれか1項記載の磁気記録媒体。

【0107】(付記23) 前記磁性層構造内の強磁性層は、互いに異なる組成を有する、(付記16)～(付記22)のいずれか1項記載の磁気記録媒体。

【0108】(付記24) (付記16)～(付記23)のいずれか1項記載の磁気記録媒体を少なくとも1つ備えた、磁気記憶装置。

【0109】(付記25) 情報を磁気的に磁気記録媒体に記録する記録方法であって、該磁気記録媒体の磁性層構造を構成すると共に、磁化方向が反平行である複数の強磁性層のうち、少なくとも1つの強磁性層の磁化方向を切り替えるステップを含む、記録方法。

【0110】(付記26) 基板と、下地層と磁性層構造を有する磁気記録媒体の製造方法であって、該下地層上に設けられ残留磁化と膜厚の積 $M_r \delta_1$ を有する下側強磁性層と、該下側強磁性層の上方に設けられ残留磁化と膜厚の積 $M_r \delta_2$ を有する上側強磁性層とを少なくとも含むと共に、該磁性層構造内の隣接する強磁性層の磁化方向が略反平行となるように、該磁性層構造の総残留磁化と膜厚の積を $M_r \delta$ とすると、 $M_r \delta \approx \Sigma (M_r \delta_1 - M_r \delta_2)$ を満足する該磁性層構造を形成する第1のステップと、該下地層及び該磁性層構造を連続スパッタリングで形成する第2のステップとを含む、磁気記録媒体の製造方法。

【0111】(付記27) スパッタリングの前に基板温度を約100~300℃に熱処理する第3のステップを更に含む、(付記26)記載の磁気記録媒体の製造方法。

(付記28) 前記第2のステップは、前記磁性層構造の各強磁性層を0.35nm/s以下のスパッタリング速度で形成する、(付記26)又は(付記27)記載の磁気記録媒体の製造方法。

#### 【0112】

【発明の効果】本発明によれば、書き込まれたビットの熱安定性を向上し、媒体ノイズを低減し、磁気記録媒体の性能に悪影響を及ぼすことなく信頼性の高い高密度記録を行える磁気記録媒体、磁気記憶装置、記録方法及び磁気記録媒体の製造方法を実現できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明になる磁気記録媒体の第1実施例の要部を示す断面図である。

【図2】本発明になる磁気記録媒体の第2実施例の要部を示す断面図である。

【図3】Si基板上に形成された膜厚10nmの単一のCoPt層の面内磁気特性を示す図である。

【図4】膜厚が0.8nmのRu層で分離された2つのCoPt層の面内磁気特性を示す図である。

【図5】膜厚が1.4nmのRu層で分離された2つのCoPt層の面内磁気特性を示す図である。

【図6】膜厚が0.8nmのRu層で分離された2つのCoCrPt層の面内磁気特性を示す図である。

【図7】本発明になる磁気記憶装置の一実施例の要部を示す断面図である。

【図8】磁気記憶装置の一実施例の要部を示す平面図である。

【図9】ガラス上のNiAl層の上にCoCrPtBからなる層が1層形成された磁気記録媒体の面内磁化曲線を示す図である。

【図10】NiPが塗布されたAl-Mg基板上に、膜厚が0.8nmのRu層で分離されたCoCrPtBからなる2つの強磁性層がスパッタリング形成された磁気記録媒体の面内磁化曲線を示す図である。

【図11】NiPが塗布されたAl基板上に、Ru層で分離されたCoCrPtBからなる2つの強磁性層が設けられた磁気記録媒体の面内磁化曲線を示す図である。

【図12】NiPが塗布されたAl基板上に、相隣るCoCrPtB層がRu層で分離された3つのCoCrPtB強磁性層が設けられた磁気記録媒体の面内磁化曲線を示す図である。

【図13】NiAlが塗布されたガラス基板上に、Ru層で分離されたCoCrPtBからなる2つの負結合された強磁性層が設けられた磁気記録媒体の面内磁化曲線を示す図である。

【図14】NiAlが塗布されたガラス基板上に、上記と同様の方法でCoCrPtBからなる単一の強磁性層が設けられた磁気記録媒体の面内磁化曲線を、図13に示す2つの負結合された強磁性層を有する磁気記録媒体の面内磁化曲線と比較して示す図である。

【図15】2つの強磁性層及び3つの強磁性層を有する磁気記録媒体における信号減衰を、単一の強磁性層を有する磁気記録媒体における信号減衰と比較して示す図である。

【図16】2つの負結合された強磁性層を有する磁気記録媒体のM-H曲線を、異なる温度について示す図である。

【図17】図16に示す特性を有する磁気記録媒体の保磁力の温度依存性を示す図である。

【図18】2つの強磁性層及び3つの強磁性層を有する磁気記録媒体におけるPW50値の強磁性層の有効及び総膜厚依存性を、単一の強磁性層を有する磁気記録媒体におけるPW50値の強磁性層の有効及び総膜厚依存性と比較して示す図である。

【図19】孤立波媒体SNRの有効膜厚依存性を示す図である。

【図20】磁気記録媒体製造装置の概略構成を示す図である。

【図21】孤立波出力の有効磁性層膜厚依存性を示す図である。

【図22】高周波SNRの温度依存性を示す図である。

【図23】孤立波媒体SNRとスパッタリング速度との関係を示す図である。

#### 【符号の説明】

- |        |         |
|--------|---------|
| 1      | 基板      |
| 2      | 第1のシード層 |
| 3      | NiP層    |
| 4      | 第2のシード層 |
| 5      | 下地層     |
| 6      | 非磁性中間層  |
| 7, 7-1 | 強磁性層    |
| 8, 8-1 | 非磁性結合層  |
| 9      | 磁性層     |
| 10     | 保護層     |

23

11 潤滑層  
13 ハウジング

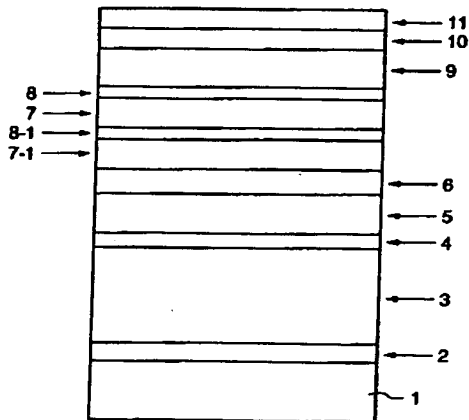
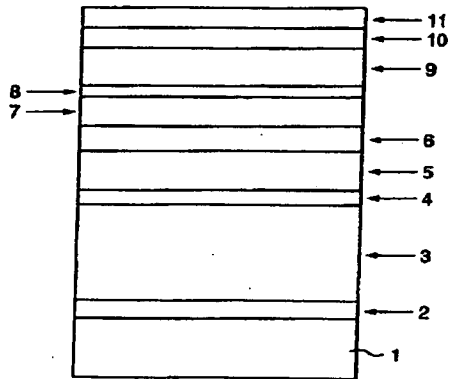
16 磁気記録媒体  
17 記録再生ヘッド

【図1】

【図2】

本発明になる磁気記録媒体の第1実施例の要部を示す断面図

本発明になる磁気記録媒体の第2実施例の要部を示す断面図

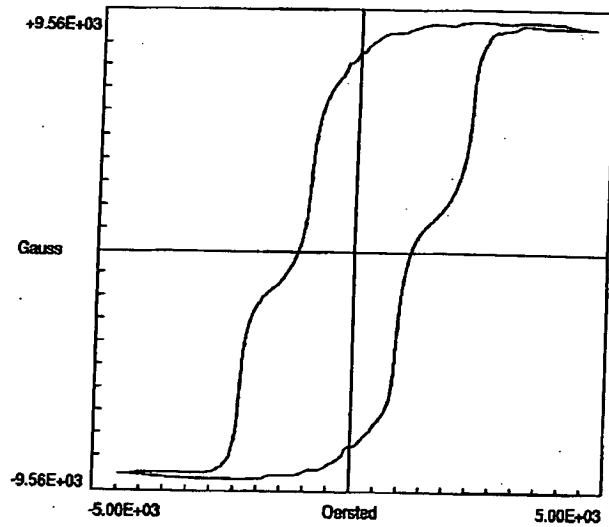
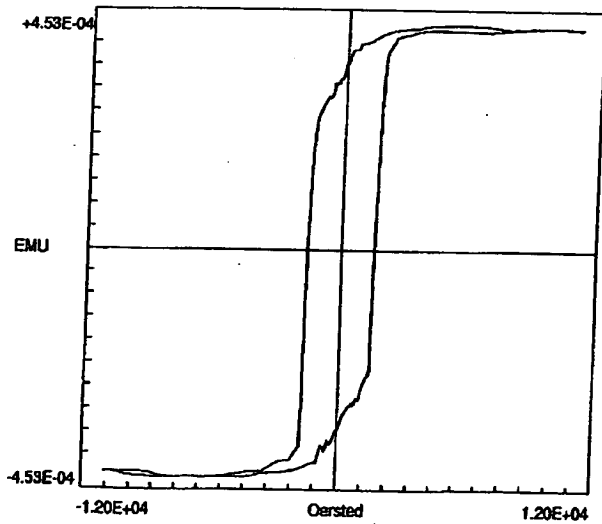


【図3】

【図4】

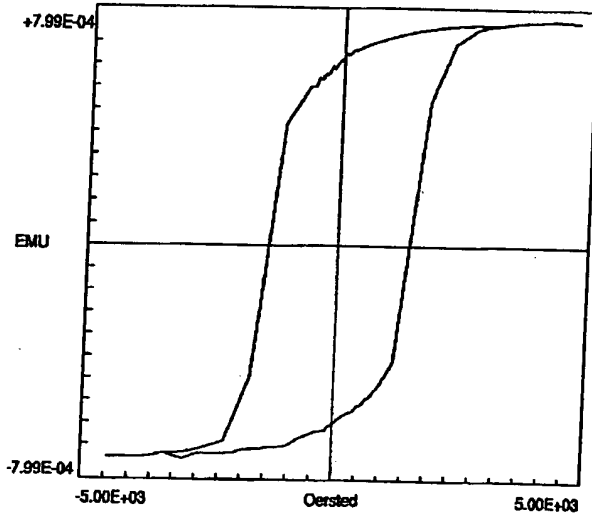
Si基板上に形成された膜厚10nmの単一のCoPt層の面内磁気特性を示す図

膜厚が0.8nmのRu層で分離された2つのCoPt層の面内磁気特性を示す図



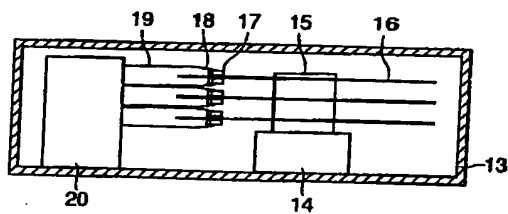
【図 5】

膜厚が1.4nmのRu層で分離された2つのCoPt層の面内磁気特性を示す図



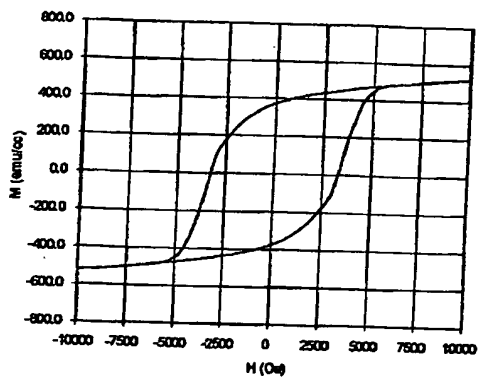
【図 7】

本発明になる磁気記憶装置の一実施例の要部を示す断面図



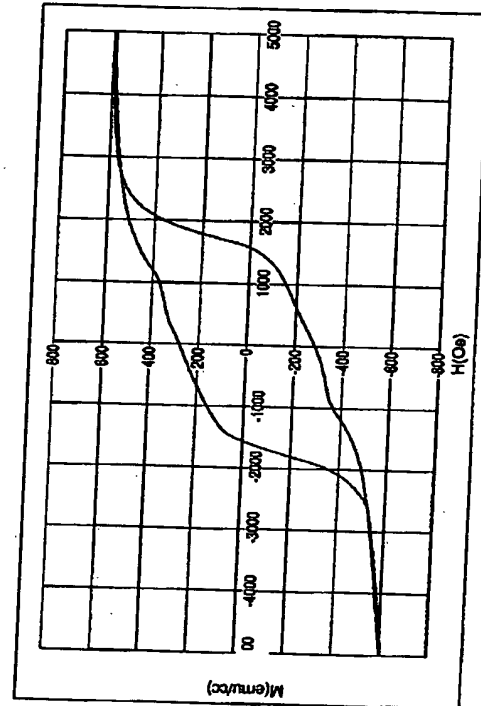
【図 9】

ガラス上のNiAl層の上にCoCrPtBからなる層が1層形成された磁気記録媒体の面内磁化曲線を示す図



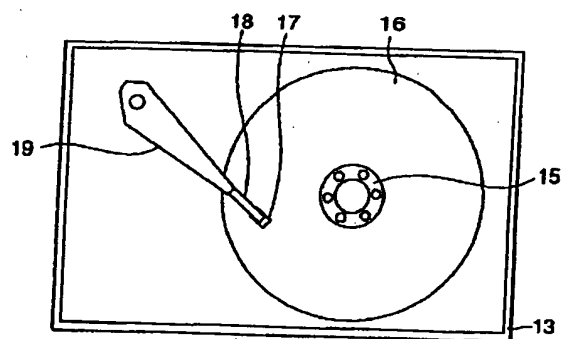
【図 6】

膜厚が0.8nmのRu層で分離された2つのCoCrPt層の面内磁気特性を示す図



【図 8】

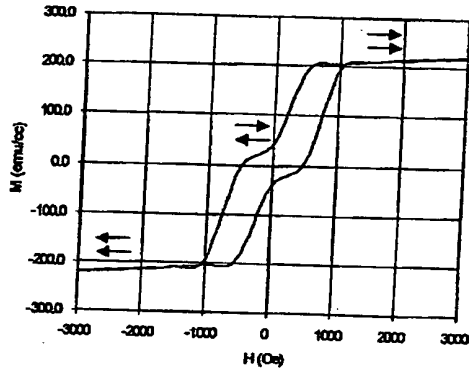
磁気記憶装置の一実施例の要部を示す平面図





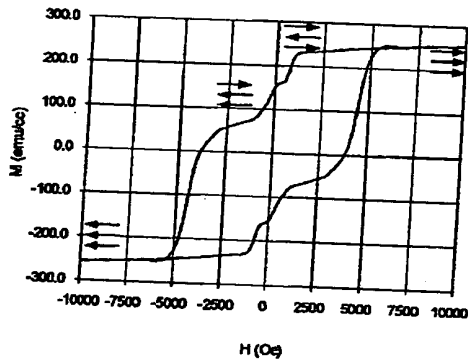
【図10】

NIPが塗布されたAl-Mg基板上に、膜厚が0.8nmのRu層で分離されたCoCrPtBからなる2つの強磁性層がスパッタリング形成された磁気記録媒体の面内磁化曲線を示す図



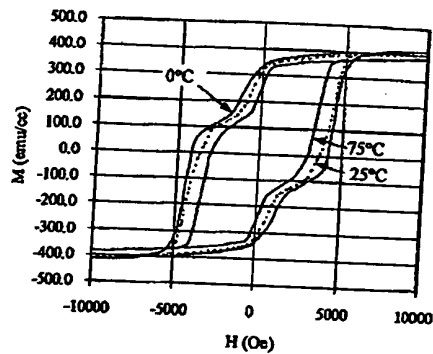
【図12】

NIPが塗布されたAl基板上に、相隣るCoCrPtB層がRu層で分離された3つのCoCrPtB強磁性層が設けられた磁気記録媒体の面内磁化曲線を示す図



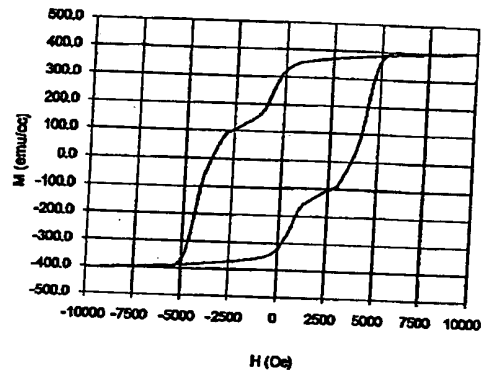
【図16】

2つの負結合された強磁性層を有する磁気記録媒体のM-H曲線を、異なる温度について示す図



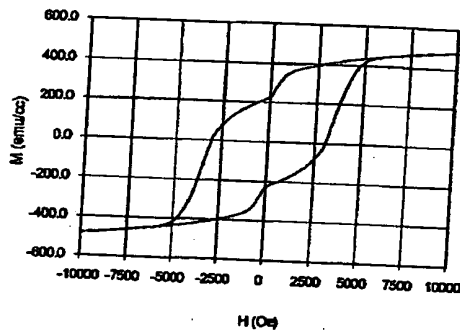
【図11】

NIPが塗布されたAl基板上に、Ru層で分離されたCoCrPtBからなる2つの強磁性層が設けられた磁気記録媒体の面内磁化曲線を示す図



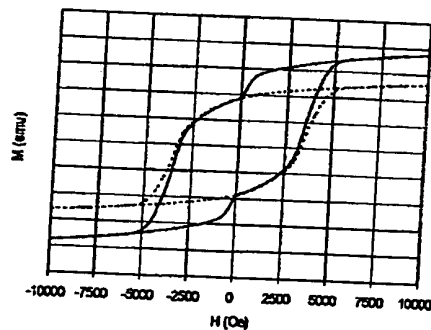
【図13】

NIAIが塗布されたガラス基板上に、Ru層で分離されたCoCrPtBからなる2つの負結合された強磁性層が設けられた磁気記録媒体の面内磁化曲線を示す図



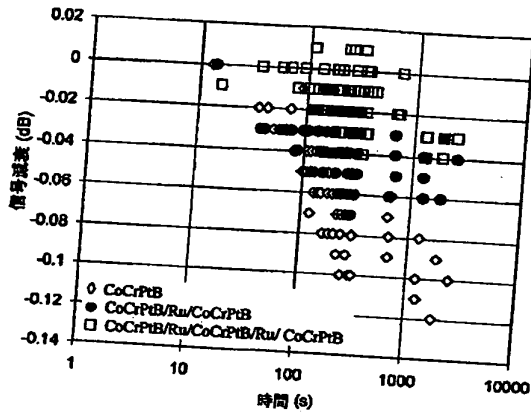
【図14】

NIAIが塗布されたガラス基板上に、上記と同様の方法でCoCrPtBからなる単一の強磁性層が設けられた磁気記録媒体の面内磁化曲線を、図13に示す2つの負結合された強磁性層を有する磁気記録媒体の面内磁化曲線と比較して示す図



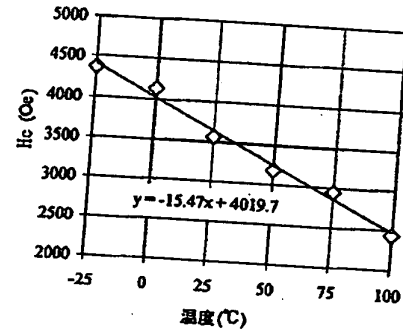
【図15】

2つの強磁性層及び3つの強磁性層を有する磁気記録媒体における信号減衰を、単一の強磁性層を有する磁気記録媒体における信号減衰と比較して示す図



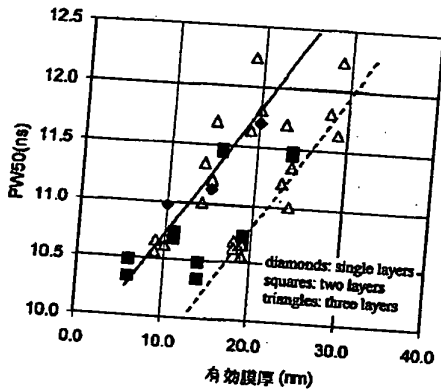
【図17】

図16に示す特性を有する磁気記録媒体の保磁力の温度依存性を示す図



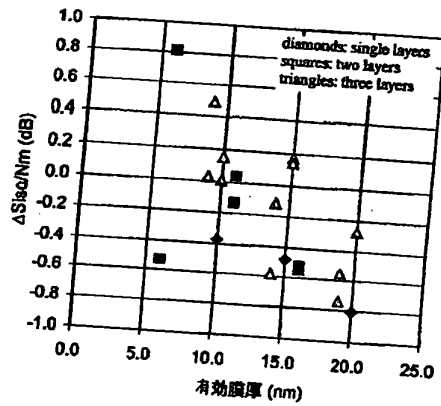
【図18】

2つの強磁性層及び3つの強磁性層を有する磁気記録媒体におけるPW50値の強磁性層の实效及び絶縁厚依存性を、単一の強磁性層を有する磁気記録媒体におけるPW50値の強磁性層の实效及び絶縁厚依存性と比較して示す図



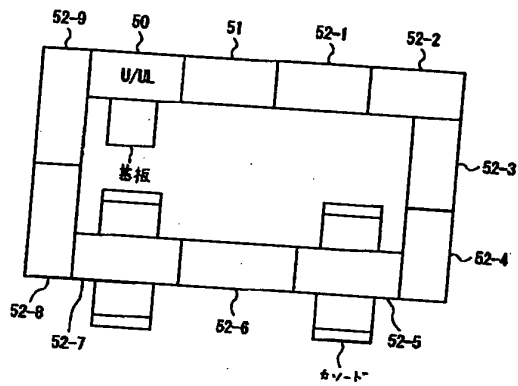
【図19】

孤立波媒体SNRの有効膜厚依存性を示す図



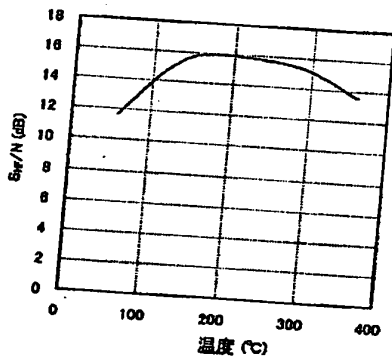
【図20】

磁気記録媒体製造装置の概略構成を示す図



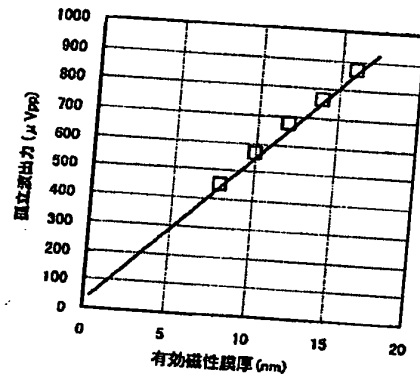
【図22】

高周波SNRの温度依存性を示す図



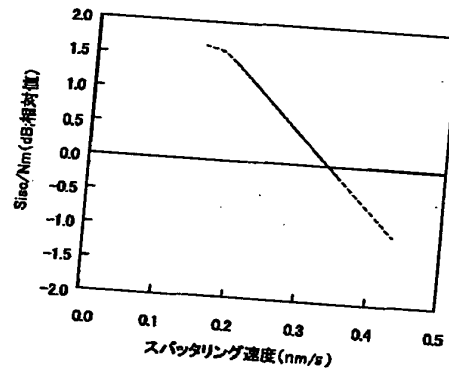
【図21】

孤立波出力の磁性層厚依存性を示す図



【図23】

孤立波媒体SNRとRuのスパッタリング速度との関係を示す図



フロントページの続き

(72)発明者 溝下 義文

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(72)発明者 吉田 祐樹

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内Fターム(参考) 5D006 BB01 BB07 BB08 CA01 CA05  
FA005D112 AA05 AA06 AA11 BB01 BD01  
BD03 FA045E049 AA01 AA04 AA07 AA09 AC05  
BA06